Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i KONFERENCJA ROCZNA
8 - 9 Grudnia 2014

ZB 3

Opracowanie technologii efektywnego projektowania i produkcji przekładni stożkowych z wykorzystaniem systemu Phoenix firmy Gleason

Development of the technology of effective design and production of spiral bevel gears using Gleason Phoenix system

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań
Results

Przeprowadzono badania **poszukiwania optymalnego doboru danych wejściowych do technologii bazowej, a w szczególności sumarycznego współczynnika beczkowatości Kp przy założeniu zadanego stałego rozstawienia noży głowicy frezowej i zakładanego współczynnika długości śladu współpracy.** Celem badań jest ułatwienie projektantowi doboru danych wejściowych w systemie KONTEPS obliczeń komputerowych konstrukcji i technologii przekładni stożkowych.
The research work was to search for the optimal selction of the basic technology input data, in particular, total factor crowning Kp assuming a given wide of blades of cutter head and defined lenght of the tooth contact. The aim of the research is to facilitate the designer selection of input data into the KONTEPS computer calculation system of spiral bevel gears.

Tabela 1. Przykłady analizowanych przekładni stożkowych
Table 1. Samples of the analized spiral bevel gears

GEOMETRIA		1	2	3	4	5	6	7
Kąt stopy zeba zębnika	TETF 1, Θf1	2,926	2,926	1,562	6,263	2,820833333	3,145555556	4,324444444
Kąt stopy zeba koła	TETF 2, Θf2	3,763	3,763	2,638	7,737	3,679166667	4,954444444	5,675555556
Liczba zębów zebnika	Z1, NZ1	18	18	18	16	16	18	16
Liczba zębów koła	Z2, ZN2	43	43	27	21	25	27	35
Długość tworzącej stozka podziałowego	Rm , R	59,824	59,824	59,106	43,802	72,474	40,514	32,484
Kąt stozka podziałowego zębnika	DEL 1, δ1	18,988	18,988	33,690	37,30388889	32,61916667	33,69	24,56722222
Kąt stożka podziałowego koła	DEL 2, δ2	51,012	51,012	56,310	52,69611111	57,38083333	56,31	65,43277778
Kąt pochylenia linii zęba	BET, βm	35	35	35	6	37,5	40	1
Kąt stozka głów zębnika	DELA 1, δa1	22,752	22,752	36,329	45,04083333	36,29861111	38,64444444	30,24277778
Kąt stozka głów koła	DELA 2, δa2	53,937	53,937	57,871	58,95916667	60,20138889	59,45555556	69,75722222
Kąt stożka stóp zębnika	DELF 1, δf1	16,017	16,017	32,129	31,04083333	29,79861111	30,54444444	20,24277778
Kąt stozka stóp koła	DELF 2, δf2	47,212	47,212	53,671	44,95916667	53,70138889	51,35555556	59,75722222
Szerokość wieńca zębatego	B	16	16	20	18	24	15	12
Srednica głowicy nozowej	D0	50,8	50,8	88,9	152,4	152,4	88,9	88,9
SZER.ROZSTAWIENIA NOŻY DO OBR.WYK.KOLA	W2 RZECZYW	0,762	0,762	2,032	2,286	2,032	1,016	1,397
WYSOKOSC STOPY ZEBA kola	WHF2, hf2	2,49	2,49	4,9	4,2	6	3,15	2,1
WYSOKOSC STOPY ZEBA zebnika	WHF1, hf1m	1,45	1,45	2,9	3,4	4,6	2	1,6
KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZEBA ZEBNIKA	LZZ	PRAWY	PRAWY	LEWY	LEWY	LEWY	LEWY	LEWY
TECHNOLOGIA								
Kąty zarysu noży do obróbki koła	α2WK	20	20	20	20	20	16	20
Kąty zarysu noży do obróbki zębnika	α1WK	20	18	16	20	20	16	20
Współczynnik długości śladu współpracy	BWK (P3B)			0,225	0,393	1,88	0,48	0,53
Sumaryczny współczynnik beczkowatości	KpWK			3	5	5	2	1,25
Poprawka kąta stożka podziałowego	ΔδWK	0	0	0	0	0	0	0
Poprawka przesunięcia hipoidalnego	ΔaWK	0	0	0	0	0	0	0
Kąty zarysu noży do obróbki koła	α2WP	20	20	20	20	20	24	20
Kąty zarysu noży do obróbki zębnika	α1WP	20	22	24	20	20	24	20
Współczynnik długości śladu współpracy	BWP (P3B)			0,195	0,36	0,167	0,38	0,51
Sumaryczny współczynnik beczkowatości	KpWP			1,5	3	3	2	1,25
Poprawka kąta stożka podziałowego	ΔδWP	0	0	0	0	0	0	0
Poprawka przesunięcia hipoidalnego	ΔaWP	0	0	0	0	0	0	0
		18-43-2in-20_20	18-43-2in-18_22	18-27-3,5in-16_24	16-21-6in-20_20	16-25-6in-20_20	18-27-3,5in-16-24	16-35-3,5in-20-20
	d_{01WK}			89,916	154,178	153,924	89,916	89,662
	d_{01WP}			87,884	150,622	150,876	87,884	88,138

Tabela 2. Poszukiwanie optymalnych danych wejściowych do technologii bazowej
Table 2. The searching of the optimum input data into the base technology

1.	Kąt stopy zeba zębnika	TETF 1, Θf1	3,146
2.	Kąt stopy zeba koła	TETF 2, Θf2	4,954
3.	Liczba zębów zebnika	Z1, NZ1	18,000
4.	Liczba zębów koła	Z2, ZN2	27,000
5.	Długość tworzącej stozka podziałowego	Rm, R	40,514
6.	Kąt stozka podziałowego zębnika	DEL 1, δ1	33,690
7.	Kąt stozka podziałowego koła	DEL 2, δ2	56,310
8.	Kąt pochylenia linii zęba	BET, βm	40,000
9.	Kąt stozka głów zębnika	DELA 1, δa1	38,644
10.	Kąt stozka głów koła	DELA 2, δa2	59,456
11.	Kąt stozka stóp zębnika	DELF 1, δf1	30,544
12.	Kąt stozka stóp koła	DELF 2, δf2	51,356
13.	Szerokość wieńca zębatego	B	15,000
14.	Średnica głowicy nozowej	D0	88,900
15.	SZER.ROZSTAWIENIA NOZY DO OBR.WYK.KOLA	W2 RZECZYW	1,016
16.	WYSOKOSC STOPY ZEBA kola	WHF2, hf2	3,150
17.	WYSOKOSC STOPY ZEBA zebnika	WHF1, hf1m	2,000
18.	KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZEBA ZEBNIKA	LZZ	LEWY

Dane wejściowe do obliczeń technologii bazowej SGM			
1.	Kąty zarysu noży do obróbki koła	α2WK	16,000
2.	Kąty zarysu noży do obróbki zębnika	α1WK	16,000
3.	Współczynnik długości śladu współpracy	BWK (P3B)	0,995
4.	Sumaryczny współczynnik beczkowatości	KpWK	8,000
5.	Poprawka kąta stożka podziałowego	ΔδWK	0,000
6.	Poprawka przesunięcia hipoidalnego	ΔaWK	0,000
		α2WP	24,000
		α1WP	24,000
		BWP (P3B)	1,000
		KpWP	8,000
		ΔδWP	0,000
		ΔaWP	0,000

NAME				33-34_2in_v1_KM=0_2020			
GEOMETRY				sin	cos	tan	ITERATION
1.	Kat stopy zeba zebnika	TETF 1, Tf1	2,581	0,045	0,999	0,045	13
2.	Kat stopy zeba kola	TETF 2, Tf2	2,719	0,047	0,999	0,047	
3.	Liczba zebów zebnika	Z1, NZ1	33,000				
4.	Liczba zebów kola	Z2, ZN2	34,000				
5.	Dlugosc tworzacej stozka podzialowego	Rm, R	28,658				
6.	Kat stozka podzialowego zebnika	DEL 1,?1	44,145	0,696	0,718	0,971	
7.	Kat stozka podzialowego kola	DEL 2, d2	45,855	0,718	0,696	1,030	
8.	Kat pochylenia linii zeba	BET, ßm	30,000	0,500	0,866	0,577	
9.	Kat stozka glów zebnika	DELA 1,?a1	46,864	0,730	0,684	1,067	
10.	Kat stozka glów kola	DELA 2, da2	48,436	0,748	0,663	1,128	
11.	Kat stozka stóp zebnika	DELF 1,?f1	41,564	0,663	0,748	0,887	
12.	Kat stozka stóp kola	DELF 2, df2	43,136	0,684	0,730	0,937	
13.	Szerokosc wienca zebatego	B	9,650				
14.	Srednica glowicy nozowej	D0	50,800				
15.	SZER.ROZSTAWIENIA NOZY DO OBR.WYK.KOLA	W2 RZECZYW	0,940				
16.	WYSOKOSC STOPY ZEBA kola	WHF2, hf2	1,180				
17.	WYSOKOSC STOPY ZEBA zebnika	WHF1, hf1m	1,120				
18.	KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZEBA ZEBNIKA	LZZ	LEWY				

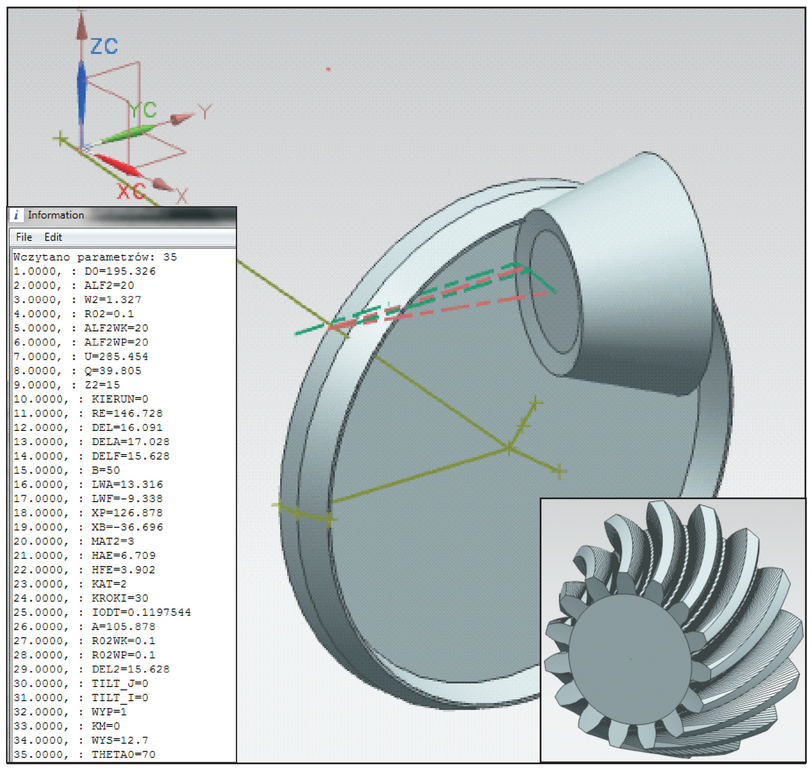
CALCULATE

Technology (SHM) inputs				sin	cos	tan
1.	Katy zarysu nozy do obróbki kola	a2WK	20,000	0,342	0,940	0,364
2.	Katy zarysu nozy do obróbki zebnika	a1WK	20,000	0,342	0,940	0,364
3.	Wspólczynnik dlugosci sladu wspólpracy	BWK (P3B)	0,788	WK diff	46,48	
4.	Sumaryczny współczynnik beczkowatosci	KpWK	0,000		315	
5.	Poprawka kata stozka podzialowego	?dWK	0,000		400	
6.	Poprawka przesuniecia hipoidalnego	?aWK	0,000	sin	cos	tan
		a2WP	20,000	0,342	0,940	0,364
		a1WP	20,000	0,342	0,940	0,364
		BWP (P3B)	0,373	WP diff	52,07	
		KpWP	0,000		149	
		?dWP	0,000		400	
		?aWP	0,000			

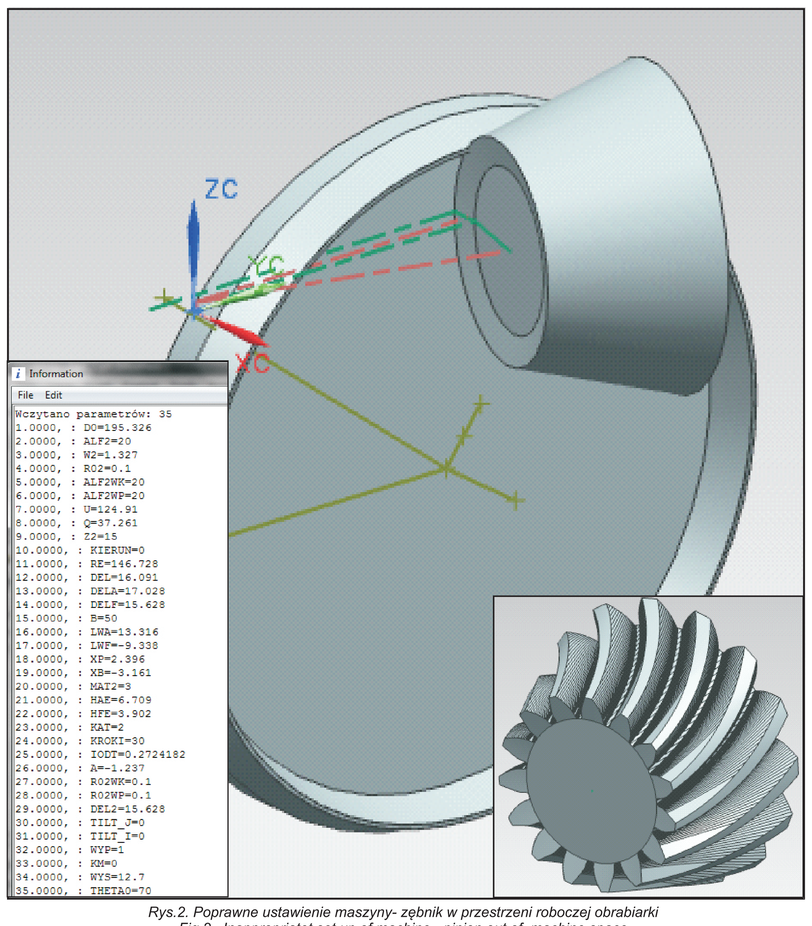
Tabela 3. Obliczenia technologii bazowej - rozwiązania dopuszczalne
Table3. Base technology calculations - appropriate solutions (green color)

KP	0,10000	0,20000	0,40000	0,60000	1,00000	1,25000	1,50000	3,00000	4,00000	5,00000	6,00000	8,00000
d01WK	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**	**51,308**
d01WP	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292	50,292
aWKx	**1,312**	**1,104**	**0,703**	**0,320**	**-0,396**	**-0,811**	**-1,206**	**-3,191**	**-4,234**	**-5,110**	**-5,855**	**-7,056**
aWPx	-1,351	-1,132	-0,703	-0,286	0,513	0,990	1,452	3,924	5,335	6,582	7,704	9,624
kMWK	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
kMWP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
XBWKx	**0,960**	**0,989**	**1,049**	**1,107**	**1,226**	**1,297**	**1,369**	**1,773**	**2,014**	**2,232**	**2,428**	**2,767**
XBWPx	-0,602	-0,720	-0,949	-1,172	-1,594	-1,844	-2,087	-3,360	-4,076	-4,694	-5,250	-6,189
XpWKx	**-1,190**	**-1,234**	**-1,324**	**-1,412**	**-1,591**	**-1,697**	**-1,807**	**-2,415**	**-2,779**	**-3,107**	**-3,403**	**-3,914**
XpWPx	1,164	1,342	1,688	2,023	2,659	3,037	3,403	5,322	6,401	7,331	8,170	9,586
UWKx	**27,515**	**27,322**	**26,946**	**26,588**	**25,915**	**25,525**	**25,152**	**23,264**	**22,263**	**21,418**	**20,695**	**19,523**
UWPx	27,066	27,314	27,799	28,271	29,173	29,711	30,233	33,015	34,600	35,992	37,248	39,392
iodtWKx	**0,718**	**0,7214**	**0,729**	**0,737**	**0,752**	**0,761**	**0,770**	**0,820**	**0,850**	**0,877**	**0,903**	**0,948**
iodtWPx	0,6769	0,671	0,661	0,651	0,632	0,622	0,612	0,565	0,542	0,523	0,507	0,482
qbWKx	**58,061**	**57,890**	**57,557**	**57,234**	**56,625**	**56,262**	**55,918**	**54,106**	**53,102**	**52,219**	**51,439**	**50,120**
qbWPx	44,287	44,421	44,679	44,923	45,373	45,632	45,874	47,072	47,685	48,201	48,632	49,321
P3B WK	**0,308**	**0,310**	**0,318**	**0,323**	**0,338**	**0,345**	**0,355**	**0,415**	**0,463**	**0,518**	**0,585**	**0,788**
P3B WP	0,305	0,305	0,308	0,310	0,315	0,318	0,320	0,335	0,343	0,353	0,360	0,373

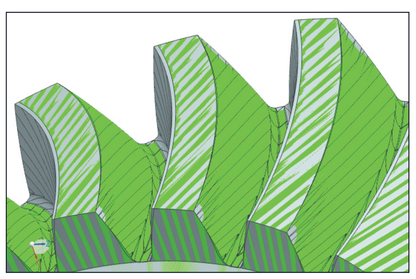
Wyniki badań
Results



Rys.1. Niewłaściwe ustawienie maszyny- zębnik poza przestrzenią roboczą obrabiarki
Fig.1. Inappropriatet set up of machine - pinion out of machine space

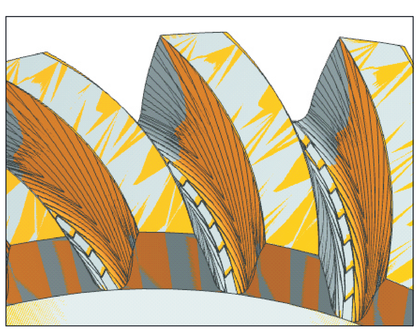


Rys.2. Poprawne ustawienie maszyny- zębnik w przestrzeni roboczej obrabiarki
Fig.2. Inappropriatet set up of machine - pinion out of machine space



um	duzy modul	srodek	maly modul
WK	0	40	15
WP	0	36	3

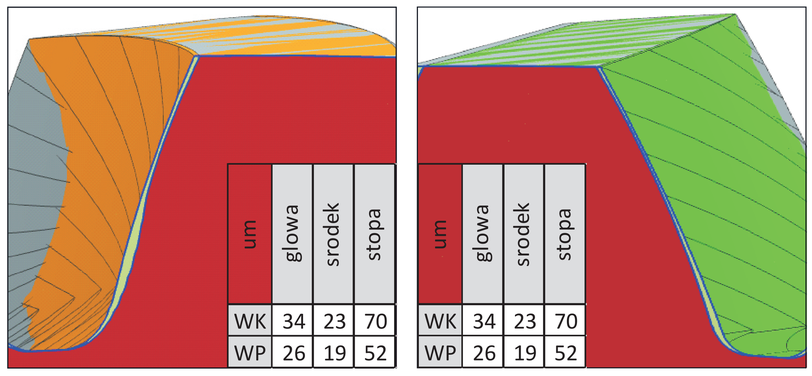
Rys.3. Porównanie krzywizny wzdłużne dla strony wypukłej zębnikaj: zielony Kp=0.1, szary Kp=8
Fig.3. Comparision of the longitudinal curvature for convex side of pinion: green - Kp=0.1, gray Kp=8



um	duzy modul	srodek	maly modul
WK	0	40	15
WP	0	36	3

Rys.4. Porównanie krzywizny wzdłużnej dla strony wklęsłej zębnika: zielony Kp=0.1, szary Kp=8
Fig.4. Comparision of the longitudinal curvature for concave side of pinion: green - Kp=0.1, gray Kp=8

Wyniki badań
Results



um	glowa	srodek	stopa
WK	34	23	70
WP	26	19	52

um	glowa	srodek	stopa
WK	34	23	70
WP	26	19	52

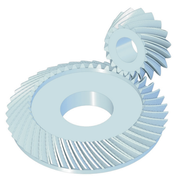
Rys. 5. Porównanie zarysu zęba na stronie wklęsłej (rys. po lewej stronie) i wypukłej zęba zębnika (rys. po prawej stronie). Pomarańczowy Kp=0.1, Szary Kp=8, Zielony Kp=0.1
Fig.5. Comparision of tooth profile on the concave (fig. on the left side) and convex side of tooth (fig. on the right side). Orange: KP=0,1, Gray Kp=8., Green Kp=0.1

Wnioski
Conclusions

Poprawna konstrukcja przekładni stożkowej to także poprawna technologia o której decydują dane wejściowe do obliczeń technologii bazowej. Poza kątami zarysu noży do obróbki przekładni pozostałe dane to współczynniki jak np.współczynnik beczkowatości wzdłużnej i poprzecznej, a także inne poprawki trzeciego rzędu z których m.inn. poprawka przesunięcia hipoidalnego jest dość często stosowana. Przeprowadzona analiza wykazała, iż z zalecanego przedziału dla kilku dopuszczalnych wartości współczynnika Kp, niektóre rozwiązania należy odrzucić, co potwierdzają badania symulacyjne i testowe.
Proper design of spiral bevel gears mean correct also technological calculations, which are dependent on the input data. Except pressure angle other input data are coefficients as example crowning factors (longitudinal and profile) and other third order changes as for instance hypoid offset changes. The analysis showed that the recommended range of several limit values Kp, some solution should be rejected, which are confirmed by simulations and

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation

Komputerowy system obliczeń konstrukcyjno-technologicznych wykorzystany został do obliczeń, a dalej do wykonania demonstratora technologicznego przekładni 18/42 i kącie między osiami 72 stopnie.Wykonano też obliczenia przekładni 21/24 napędu wrzeciona pionowej frezarki CNC.



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

PWK Kalisz – przemysł lotniczy
Współpraca z PWK na etapie wdrożenia
Możliwość rozszerzenia współpracy z polskim przemysłem maszynowym.
PWK Kalisz – aviation industry.
Collaboration with PWK at the implementation stage.
Opportunity to expand cooperation with the Polish industry.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. Marek Kret, Piotr Skawiński:***The examination of the impact of base technology parameters on the geometry of the teeth of spiral bevel gears Badanie wpływu parametrów technologii bazowej na geometrię uzębienia przekładni stożkowych o kołowo-łukowej linii zęba*** *(prezentacja na konferencji, artykuł w przygotowaniu).* Konferencja AIRTEC 2014, Frankfurt, 28-30 October
2. Piotr Błazucki, Piotr Skawiński: ***Programowanie obróbki uzębień kół stożkowych systemu Gleasona na 4-osiowej laboratoryjnej frezarce CNC Programming of the milling operation of Gleason spiral bevel gears on the 4 -axis CNC laboratory machine*** *(prezentacja na konferencji, artykuł w przygotowaniu).* Konferencja AIRTEC 2014, Frankfurt, 28-30 October
3. Skawiński P., Kuryjański R., Siemiński P., Marciniec A., Pisula J., Płocica M.: ***Experimental verification of the simulation of the aircraft bevel gear contact. Journal Aircraft Engineering and Aerospace*** *(prezentacja na konferencji, artykuł w przygotowaniu) Technology.* Konferencja AIRTEC 2014, Frankfurt, 28-30 October
4. Skawiński P., Kuryjański R., Siemiński P., Marciniec A., Pisula J., Płocica M.: ***Comparative analysis of numerical and experimental methods of determining the contact pattern of aircraft bevel gears****. Journal Aircraft Engineering and Aerospace Technolog (prezentacja na konferencji, artykuł w przygotowaniu).* Konferencja AIRTEC 2014, Frankfurt, 28-30 October
5. Skawiński P. Siemiński P. Kuryjański R.: ***Przekładnie stożkowe krzywoliniowe. Wskaźniki zazębienia - podstawowy wyznacznik poprawności konstrukcji przekładni.*** *Czasopismo Diagnostyka lub Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (prezentacja na konferencji, artykuł w przygotowaniu).* XXI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Koła Zębate, XIX Ogólnoposla naukowo-Techniczna Konferencja Przekładnie Zębate, Wisła, 25-27 listopad 2014
6. Piotr Skawiński, Marek Kret, Piotr Błazucki: ***Badanie wpływu sumarycznego współczynnika beczkowatości na obliczenia technologii bazowej i kształt luki międzyzębnej przekładni stożkowych kołowo-łukowych*** *(prezentacja na konferencji, artykuł w przygotowaniu).*XXI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Koła Zębate, XIX Ogólnoposla naukowo-Techniczna Konferencja Przekładnie Zębate, Wisła, 25-27 listopad 2014

Prace mgr, dr, hab...

Prace magisterskie planowane

- Paweł Trzewik :***Rekonstrukcja i wykonanie przekładni głównej 8/54 zabytkowego motocykla BMW.*** Promotor: dr hab. inż. P. Skawiński. Obrona planowana na marzec 2015.

Prace doktorskie

Tytuł: ***Ocena wpływu modyfikacji ruchu odtaczania i przesunięcia hipoidalnego na zarys zęba stożkowych kół zębatych o krzywoliniowej linii zęba.***
Autor: Marek Kret
Promotor: dr hab. inż. Piotr Skawiński
Status: przewód doktorski otwarty 26.06.2013. Przewidywana obrona marzec 2015
Tytuł: ***Obróbka uzębień kół stożkowych o zębach kołowo-łukowych na wieloosiowych frezarkach CNC.***
Autor: Piotr Błazucki
Promotor: dr hab. inż. Piotr Skawiński
Status: w przygotowaniu

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO